

소형 복사방식 비구면 렌즈 제조시스템 개발

Development of a Small Radiative Production System for Aspherical Lens

*#국금환¹, 김갑순², 정동연³

*K. H. Kuk(kkh@gnu.ac.kr)¹, K. S. Kim², D.Y.Chong³

¹ 경상대학 제어계측공학과, ²경상대학 제어계측공학과, ³(주)대호테크

Key words: Aspherical Lens, Press Forming, Radiative Method, Convective Method

1. 서론

광학렌즈 제조의 경우 종래의 기계가공·연마 방식에서 정밀 프레스성형방식으로 점차 옮겨가고 있다⁽¹⁾. 다양한 형상의 광학렌즈를 프레스 성형방식으로 효율적으로 제조하기 위해서, 반복 성형에 충분한 강도를 갖는 금형재료기술, 고정밀 금형가공기술, 금형형상을 정확히 전사하는 정밀 프레스 성형기술, 고정도로 형상을 측정기술등이 요구된다⁽²⁾.

프레스 성형 작업에서 성형직전 렌즈 초재를 일정온도까지 올릴 때, 이 온도설정 값은 매우 중요하며 이를 위해 렌즈 초재를 둘러싼 금형 전체가 균일한 온도 분포를 가져야한다. 금형 예열과 냉각 작업을 복수 개의 단으로 분할하여 수행하는 경우, 상하 금형과 금형 가이드 링으로 둘러싸인 렌즈 초재의 온도를 직접 측정하는 것은 불가능하고 금형 자체의 온도분포 측정 역시 어렵다.

성형직전 금형(렌즈 초재)을 일정온도까지 올리는 열전달방법은 크게 전도열전달방식과 복사열전달방식으로 나눌 수 있다. 전도열전달방식의 경우 주로 원통형 카트리지 히터(전열선)을 심은 열생성블록의 열에너지가 열균일화용 열전달블록을 매개로 렌즈 금형 상하부에 직접 접촉된 상태에서 전달되며, 복사열전달방식의 경우 금형 주위에 원형으로 배치한 적외선 램프로부터 열에너지가 복사방식으로 금형에 전달된다.

본 논문에서는 복사방식과 전도방식의 금형 온도분포를 수치해석을 통해 상호 비교하고, 복사방식 챔버를 소형화하기 위해 렌즈 제조시스템의 개선된 구조설계방안을 제안한다. 또한 제안한 구조설계방안을 실제로 적용하여 제작한 소형 복사방식 제조시스템을 제시하고, 이 시스템의 챔버 내 금형의 온도측정 방법과 실험결과를 보인다.

2. 전도방식과 복사방식의 금형 온도분포 수치해석

아래 그림 1 은 현재 제작 중인 12개 렌즈를 동시에 성형할 수 있는 금형의 도면과 이 금형의 1/8 솔리드 모델의 매시생성결과이다. 성형 금형의 온도분포해석을 효율적으로 수행하기 위해 열전달에 크게 영향을 주지 않는 금형 최 외곽 케이스 상부 내측에서 블록 쪽으로 돌출한 링 형상 돌기를 제거하였다.

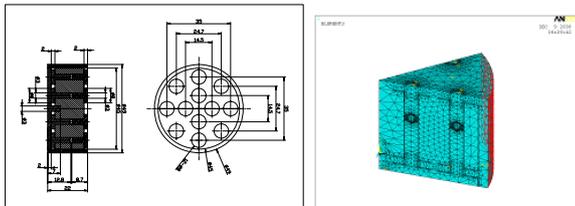


Fig 1. Lens die and solid model

2.1 전도열전달방식 시스템의 금형 온도분포

대호테크에서 사업2단계 시제품으로 개발한 전도방식 렌즈 제조시스템은 12개 렌즈의 동시 제조를 위해 시스템으로, 하나의 챔버 내에서 금형이 예열(3)·압축(1)·냉각(3) 단계 차례로 운반되며 렌즈가 제조되는 순차제조방식 시스템이다⁽³⁾.

챔버 내 각 금형의 온도해석을 위해 고려해주어야 하는 경계조건으로, 먼저 각 단에서 금형 상하 표면에 직접 접촉하는 열판(열

전달 블록)과의 전도 열전달을 모델링하기 위해 열판과 직접 접촉하는 금형 상하 표면에 일정온도(열전달블록인 열판 온도가 제어기를 통해 일정 온도로 제어됨을 가정) 구속조건을 부여하였다. 또한 챔버 내 기체를 통한 대류 열전달 현상을 고려해 주었다. 렌즈 금형 내부에서는 모든 구성요소(금형 자체의 구성 요소인 상하 형, 블록, 케이스, 베이스, 렌즈 초재, 이들 요소들 간의 접촉부)간의 전도 열전달 현상을 모델링 하였다. 수치해석을 위해 적용한 요소 타입은 블럭 형태 8개 노드를 가진 3차원 SOLID70 이고, 각 재료의 열전도계수는 표 1 과 같다.

Table 1 Thermal conductivity

	렌즈 초재	금형 Upper · Lower Die	챔버 내 기체	금형 Base	금형 Block	금형 Case	Base와 Lower Die 접촉부	상 · 하부 Die와 Block 접촉부	Block 과 Case 접촉부
열전도 계수(K) joul/(sec*mm*°C)	1.22 E-3	3.6E-3	0.739 E-3	3.6 E-3	3.6 E-3	3.6 E-3	0.739 E-3	1.812E-3	1.097 E-3

아래 그림 2 는 챔버 내부 온도 400°C 에 대한 금형 내부의 정상상태 온도분포(좌)와 렌즈초재 중심부의 과도상태 온도변화(우)이다. 렌즈 초재 압축 전 금형 상하면의 경계조건이 다르기에 금형 내부 온도 분포가 비대칭 형태임을 알 수 있다. 온도분포 해석 결과, 렌즈 초재 온도를 정확히 600°C 제어하기 위해서는 챔버 내부 온도에 따라 다르지만 열판 온도를 600°C 보다 2~3°C 높여야한다. 그러나 이 경우에도 렌즈 초재의 금형 내 위치에 따라 1°C 정도의 온도차는 피할 수 없다. 그리고 초재 압축 직전 렌즈 초재를 중심으로 상하 대칭에 가까운 온도 분포를 얻는 것이 렌즈 품질 향상에 중요한 경우에는 하부 열판의 온도를 상부열판 온도보다 약간 높게 제어해야 한다. 또한 챔버 각 단의 렌즈 온도를 일정하게 제어하기 위해서는 현재 적용된 각 단의 온도 제어 뿐 아니라 챔버 내부 온도 역시 일정 범위 내로 제어해야 함을 알 수 있다.

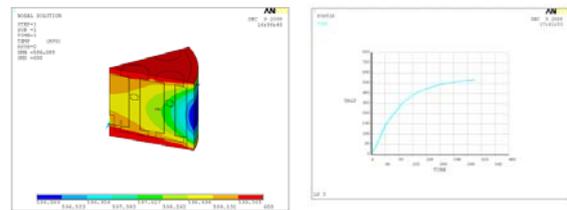


Fig 2. Temperature distribution of die

2.2 복사열전달방식 시스템의 금형 온도분포

새로 제작한 또 하나의 시스템은 복사열전달방식으로, 구조상 금형 예열을 위해 금형 상하부 히터 블록에 부착된 열판으로부터의 전도 열전달에 의존하지 않고, 챔버 벽 속의 히터에 의해 가열된 챔버 내벽 표면으로 부터의 복사 열전달과 챔버 내부 기체의 대류 열전달 및 금형 상하부 접촉 열판으로부터의 전도 열전달에 의존한다. 챔버 내 금형의 온도해석을 위해 고려해준 열전달현상과 경계조건은, 앞의 전도 열전달 방식 시스템에 고려한 모든 내용뿐 만아니라 추가로 챔버 내벽과 금형 사이의 복사 열전달 현상을 고려해 주었다. 전도 열전달해석을 위해 적용한 요소 타입은 동일한 SOLID70 이고, 복사 열전달 해석을

위한 추가 요소 타입은 Extra Node를 갖는 SURF152 이다.
 해석을 위해 접촉 열관과 직접 접촉하는 금형 상하 표면을 600°C로 지정하였는데, 이것은 챔버 상하부 표면을 600°C로 제어함을 반영한 것이다. 그림 3은 챔버 내부 온도 400°C에 대한 금형 내부의 정상상태 온도분포(좌)와 렌즈소재 중심부의 과도상태 온도변화(우)이다. 물론 이러한 결과 역시 챔버 내부 온도 설정값에 직접 의존한다.
 그림 2와 그림 3의 결과를 비교해보면 금형 내부 온도분포가 거의 같음을 알 수 있다. 따라서 금형과 렌즈소재를 원하는 설정온도로 제어하기 위해 기존 전도열전달방식 대신 복사열전달방식을 적용하는 것도 가능함을 알 수 있다.

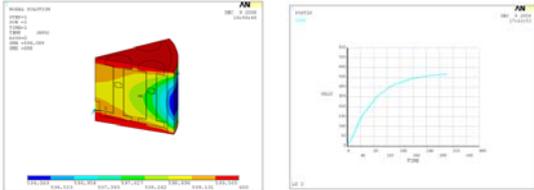


Fig. 3 Temperature distribution of die

3. 챔버 소형화를 위한 시스템의 설계

기존 전도열전달방식 대신 현 전기로방식인 복사열전달방식으로 바꾸는 경우 수반되는 시스템 대형화를 피하기 위한 방안이 요구된다. 표 2는 시스템 소형화와 구조 단순화 방안이다.

Table 2 Strategy for system minimization and simplification

챔버 소형화	금형 최대 크기에 대응한 개별 챔버 내부공간의 최소화
	금형 각 단의 MH 동시 운반용 챔버 내 공압 Arm 제거
	고기능 단열보드 적용에 의한 챔버들 간 중간벽과 챔버 외벽 두께의 최소화
구조 단순화	기존 순차제조 전도열전달방식 시스템에 요구되는 예열 1,2,3단, 압축단, 냉각 1,2,3단의 챔버 내 상하 히터블록과 열 균일화 블록(열판) 제거
	각 챔버의 4면 수직 벽을 제외한, 챔버 상하부 벽면 내부에 대칭으로 가열용 전열선 매입
	예열 1,2,3단, 압축단, 냉각 1,2,3단의 챔버 내 냉각수 순환판 제거와 챔버 벽 내장 냉각수 순환판 제거
	챔버 내장 강선 컨베이어 벨트에 의한 챔버들 내 각 단 MH의 동시 운반

표 2를 반영한 순차제조 복사열전달방식 시스템의 개념설계 결과는 그림 4와 같으며 상세설계 결과는 그림 5와 같다. 금형 가열방식 이외에 기존 전도열전달방식 렌즈 제조시스템과 가장 큰 차이점은 챔버 내부에서 금형들을 순차적으로 운반하는 금형 핸들링 로봇을 챔버 외부의 금형 운반용 강선 컨베이어 시스템으로 바꾼 점이다. 그러나 챔버 각 단의 온도를 상호 별도로 제어하기 위해 개별 챔버들 간에 중간벽을 추가 설치하였다. 시스템 개념설계 단계에서 강선 컨베이어 구동원으로 모두 공압실린더를 적용했으나, 상세설계 단계에서 강선 컨베이어 전후진 운동용 구동원으로 모터로 교체 적용했다.

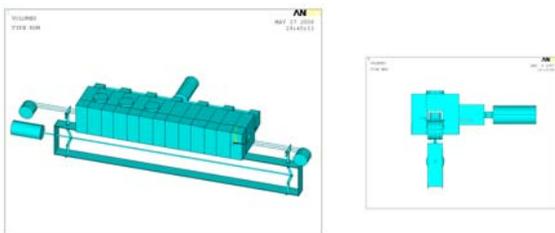


Fig. 4 Conceptual design of lens production system

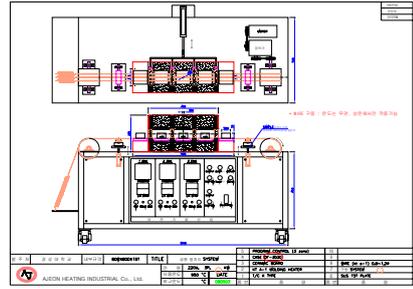


Fig. 5 Specific design of lens production system

4. 복사방식 실험장치 제작과 온도측정 실험

실험용으로 제작한 복사방식 렌즈 제조시스템은 예열단, 압축단, 냉각단 3개 챔버만으로 구성되며, 주요 요소는 아래 표 3과 같다.

Table 3 Elements of experimental system

시스템 요소	상세 제원
Control System	- PID 제어 (3 zone); over temp. control - thermo couple "K" type - digital V/A meter
Heating Element	- kanthal A-1 molding heater
Insulation	- ceramic board (ISOLITE 1260 BOARD), - 챔버개폐판 (LBK-28)
MH 운반 유닛	- motor (220V/3P), wire, roller 구동 type
사용 온도 (MAX)	- 950°C

제작한 시스템(그림 6)의 금형 운반용 강선 컨베이어 시스템의 제어는 챔버 온도제어와 독립적으로 이루어지며, 컨베이어 시스템의 개별 동작의 분리제어와 연속제어가 가능하다. 또한 각 챔버의 설정온도는 독립적으로 조절가능하며 실험을 통해 온도 제어 특성을 확인하였다.



Fig. 6 Lens production system

5. 결론

본 논문에서는 하나의 저가 복사방식 시스템 개발을 위한 챔버 소형화 설계 방법을 제시하였다. 이를 위해 기존의 챔버 내부 금형 운반용 전용 로봇을 강선 컨베이어 시스템으로 대체하였다. 또한 제안한 소형 복사방식 시스템의 실제 구현가능성을 검증하기 위해 실험용 시스템을 제작하여 시운전하였다.

후기

본 논문은 산업자원부지원으로 지역산업기술개발사업으로 추진 중인 ‘글래스 렌즈 제조용 초정밀 힘열 제어 로봇 시스템 개발’ 과제(2단계)로부터 지원받아 수행한 연구결과이다.

참고문헌

1. Y.Komiyama, "The Present Condition of Glass-Molding Press Machine," p.38-42, NEW GLASS Vol. 13, No. 2, 1998.
2. M.Umetani, "Manufacturing of Optical Glass Lens by Press-Molding Method," p.32-37, NEW GLASS Vol. 13, No. 2, 1998.
3. 산업자원부, "고화소 (메다픽셀) 다초점 유리렌즈 제조용 로봇 시스템," 2단계 1차년도 보고서, 2008.